

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE FILTROS VERDES DENTRO DE LA ESTACIÓN
DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES EN EL BERRUECO, SIERRA NORTE DE
LA COMUNIDAD DE MADRID**

**DESIGN OF A GREEN FILTER SYSTEM WITHIN THE DEPURATING STATION OF
RESIDUAL WATERS IN THE BERRUECO, NORTH SIERRA OF THE COMMUNITY
OF MADRID**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

Presentado por:

D^a MICHELL AGUIRRE RUBIANO

Dirigido por:

D^a Raffaella Meffe

D^a Ana de Santiago Martín

Alcalá de Henares, a 17 de Septiembre de 2019

AGRADECIMIENTOS

Este nuevo logro en mi carrera profesional se lo quiero dedicar a mis padres y a mi amado hijo que han sido los motivos para alcanzar lo que sueño. A los profesores del máster por su tiempo y conocimiento durante todo el proceso. Por último, agradezco a Dios por darme la oportunidad de haber llegado hasta aquí y sentir que siempre me ha ayudado.

Michell Aguirre R.

TABLA DE ABREVIATURAS

AR: Aguas Residuales

SbN: Soluciones basadas en la Naturaleza

CE: Comisión Europea

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales

RDPH: Reglamento de dominio público hidráulico

FV: Filtros Verdes

ETm: Evapotranspiración mensual

Prm: Permeabilidad mensual

Tim: Tasa de infiltración mensual

Ch= Carga hidráulica

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días

DQO: Demanda Química de Oxígeno

SS: Sólidos en suspensión

N: Nitrógeno total

P: Fósforo total

TFM: Trabajo Fin de Máster

ÍNDICE

Resumen.....	8
1. Introducción.....	9
2. Metodología.....	10
2.1. Zona de estudio.....	10
2.2. Factores físico-ambientales.....	12
2.2.1 Climatología.....	12
2.2.2 Topografía.....	12
2.2.3 Litología.....	13
2.2.4 Edafología.....	14
2.2.5 Hidrogeología.....	15
2.3 Factores de calidad.....	16
2.3.1 Características de las aguas residuales.....	16
2.3.2 Capacidad de depuración de las AR.....	18
2.3.3 Legislación vigente.....	19
2.4 Factores tecnológicos.....	20
2.4.1 EDAR El Berrueco.....	20
2.4.2 Seguimiento de la instalación de autodepuración.....	22
2.5 Factores socioeconómicos.....	23
2.6 Descripción de Filtros Verdes.....	24
3. Resultados.....	26
4. Discusiones.....	34
5. Conclusiones.....	35
6. Bibliografía.....	36
7. Anexos.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la zona de estudio.....	10
Figura 2: Población total empadronada de El Berrueco.....	11
Figura 3: Localización de El Berrueco y la EDAR. Imagen satelital.....	12
Figura 4: Datos históricos del tiempo en El Berrueco.....	12
Figura 5: Mapa topográfico de El Berrueco.....	13
Figura 6: Mapa litológico del Berrueco.....	14
Figura 7: Paisaje El Berrueco.....	15
Figura 8. Mapa hidrogeológico de El Berrueco.....	16
Figura 9: Contaminantes presentes en las Aguas Residuales Domésticas.....	17
Figura 10: Valores típicos de los principales contaminantes de las aguas residuales urbanas procedentes de pequeñas aglomeraciones urbanas.....	18
Figura 11. Ciclo integral del Agua en la cuenca de Lozoya EDAR El Berrueco.....	21
Figura 12: Imágenes actuales de la EDAR.....	22
Figura 13: requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción.....	23
Figura 14: Esquema funcionamiento de filtro verde.....	24
Figura 15: Cuadro comparativo ventajas vs desventajas sobre filtros verdes.....	25
Figura 16: Ficha técnica de los filtros verdes.....	26
Figura 17: Diagrama de flujo del sistema.....	27
Figura 18: Características de diseño de los diferentes sistemas de tratamientos.....	29
Figura 19: Riego superficial en FV.....	31
Figura 20: Ejemplo sistema de aplicación superficial al terreno: filtro verde.....	31
Figura 21: Imagen de la especie (Chopo).....	38
Figura 22: Características de los chopos.....	39
Figura 23: Censo de vertidos autorizados.....	40

RESUMEN

El Berrueco está considerado uno de los pueblos con mayor patrimonio natural y artístico del norte de la sierra de Madrid. Este lugar refleja la importancia de las infraestructuras hidráulicas existentes en la zona como recurso económico y natural.

En el presente estudio se diseña un sistema de filtros verdes dentro de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) ubicada en El berrueco, incentivando la aplicación de tratamiento de aguas residuales no convencionales combinándolo con infraestructuras construidas (gris) generando soluciones más eficientes así como aumentando la resistencia frente al cambio climático y proveer beneficios ambientales, sociales y económicos a largo plazo.

Los resultados obtenidos del sistema determinan las cargas hidráulicas, cuales son las características litológicas e hidrológicas a tener en cuenta según la zona así como la vegetación ideal. En este caso se utilizara la vegetación más eficaz para depurar las aguas de forma natural con *Populus x Euroamericano* también llamado chopo del Canadá para así alcanzar los objetivos principales del proyecto minimizando los impactos negativos.

Palabras claves: Filtro verde, El Berrueco, Depuradora de aguas residuales, Embalse de Atazar, *Populus x Euroamericano*.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales fuentes de contaminación de las aguas son los vertidos residuales domésticos e industriales. Desde años atrás se ha llevado a cabo la construcción de infraestructuras para la depuración de grandes volúmenes de agua contaminada con el fin de devolverlas a las fuentes naturales cercanas libres de materia orgánica para la prevención de la salud humana y de los ecosistemas.

Según la Ley 7/1985 de abril “la depuración es un proceso técnico, administrativo y económico que asumen como competencia el ayuntamiento”, así como la Directiva comunitaria 91/271 que obliga a cumplir que las poblaciones mayores a 2.000 habitantes deben al menor tratar sus aguas residuales con un tratamiento primario, y un tratamiento terciario si se encuentra en zonas sensibles.

Desde hace varios años atrás se han implementado tratamientos no convencionales los cuáles han sido llamados Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) y la Comisión Europea (CE) las define como “soluciones a desafíos a los que se enfrenta la sociedad que están inspiradas y respaldadas por la naturaleza; que son rentables y proporcionan a la vez beneficios ambientales, sociales y económicos, y ayudan a aumentar la resiliencia”¹.

Entre estas soluciones naturales se destacan los humedales artificiales o filtros verdes, utilizados ampliamente para el tratamiento de efluentes domésticos e industriales. Estos tratamientos suelen ser menos sofisticados y costos en cuanto a operación y mantenimiento que los convencionales. Requieren mayores extensiones de terreno, además de que deben adaptarse a las incertidumbres de tipo climático o socio-económico pero se ha demostrado que también llevan a soluciones costo-efectivas, así como eficaces para eliminar la contaminación de materia orgánica e incluso de elementos patógenos y nutrientes (nitrógeno (N) y fósforo (P)). En compensación, su consumo energético es mínimo y el mantenimiento muy bajo, evitando la necesidad de requerir personal cualificado.

Los procesos de depuración se centran, además, en obtener un agua apta para su reutilización en diversos usos no directamente relacionados con el consumo humano, pero si para realizar una mejor gestión del recurso, utilizándolo en épocas de sequías, sistemas de riego agroforestal.

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de Filtros verdes dentro de la planta depuradora de aguas residuales ubicado en El Berrueco para así mejorar la eficiencia de la depuración de esas aguas que actualmente son vertidas al arroyo del Ejido.

Siendo esta una población pequeña cerca de la capital, la cual es de gran importancia ecológica y económica siendo un lugar de turismo y desarrollo. Para ello se analizará la información

¹ European Commission, p. 1: <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>

disponible con el fin de conseguir los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la zona en relación a los procesos previos, datos litológicos, hidrogeológicos y climáticos donde se pretende implantar el sistema de filtros verdes
- Determinar la vegetación para la eliminación de las cargas contaminantes presentes.
- Proponer mejoras que puedan superar las limitaciones de estos sistemas

2. METODOLOGÍA

2.1 Zona de estudio

La Villa de El Berrueco se encuentra en la sierra Norte de la Comunidad de Madrid entre dos alineaciones montañosas que separan las provincias de Segovia y Guadalajara. En este lugar se encuentra el actual Embalse del Atazar desde 1976 a 63 Km de la capital con una capacidad de 426 hm³ que proporciona usos como abastecimiento, electricidad, riego, picnic, pesca y navegación en Madrid.

La zona de estudio es de gran importancia ecológica, turística y económica por lo tanto durante todo el tiempo transcurrido se ha tratado de llevar una gestión correcta y eficaz sobre los recursos que benefician al lugar.



Figura 1: Localización de la zona de estudio. Ayuntamiento de El Berrueco (2019)

- **Situación geográfica:**

Altitud	925 m
Extensión	28.8 Km ²

Según los datos actuales hasta el año 2018 se encuentran empadronadas en este municipio 471 personas. En los últimos años la población de la zona ha ido aumentando ya sea porque habitan, trabajan, estudian o pasan algún periodos de tiempo en el lugar.

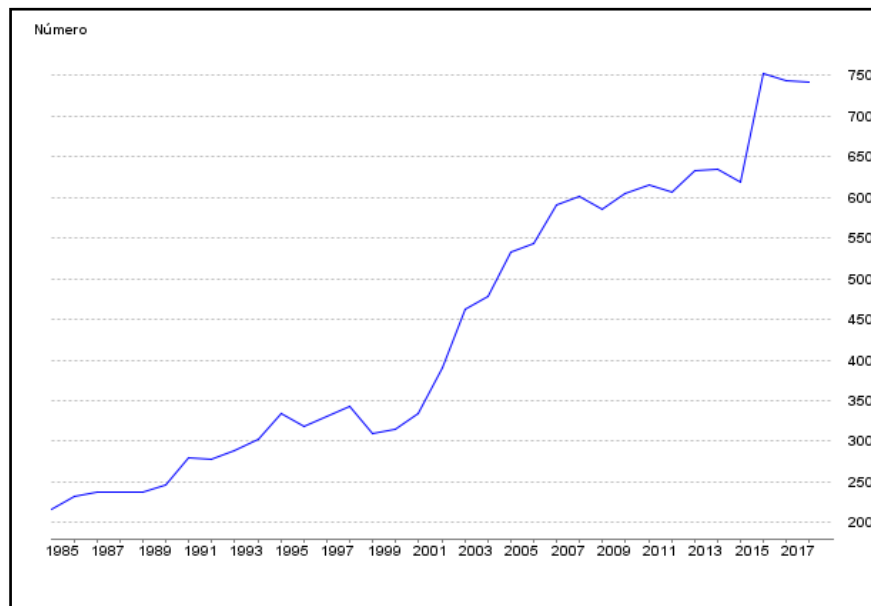


Figura 2: Población total empadronada de El Berrueco

A continuación, se muestra la zona de estudio donde se observa su proximidad y extensión al embalse del Atazar de gran importancia hidrológica. Además de la planta de depuración de aguas residuales de la población.



Figura 3: Localización de El Berrueco y la EDAR. Imagen satelital

2.2 Factores físico-ambientales:

2.2.1 Climatología

La temperatura media anual en El Berrueco se encuentra a 11.6 °C. El mes más caluroso del año con un promedio de 21.6 °C de julio. El mes más frío del año es de 3.2 °C en el medio de enero. Hay alrededor precipitaciones de 475 mm/añual (Climate-Data.org)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	3.2	4.6	7.4	9.6	13.5	17.9	21.6	21.4	17.6	12	6.8	3.9
Temperatura mín. (°C)	-0.3	0.1	2.3	4.4	7.6	11.6	15	14.9	11.7	7.4	2.7	0.6
Temperatura máx. (°C)	6.8	9.1	12.5	14.9	19.4	24.3	28.3	27.9	23.6	18.6	10.9	7.3
Temperatura media (°F)	37.8	40.3	45.3	49.3	56.3	64.2	70.9	70.5	63.7	53.6	44.2	39.0
Temperatura mín. (°F)	31.5	32.2	36.1	39.9	45.7	52.9	59.0	58.8	53.1	45.3	36.9	33.1
Temperatura máx. (°F)	44.2	48.4	54.5	58.8	66.9	75.7	82.9	82.2	74.5	61.9	51.6	45.1
Precipitación (mm)	38	41	40	45	52	39	17	14	35	49	56	49

Figura 4: Datos históricos del tiempo en El Berrueco.

Fuente: Climate-Data.org(2018)

2.2.2 Topografía:

El municipio del Berrueco está localizado cerca a las orillas del embalse del Atazar

pertenece a la sierra norte de Madrid, próximo a la Sierra de la Calera dándole un aspecto berrocal a una altitud de 937 m y una extensión de 28.80 km. (www.sierranortemadrid.org/el-berrueco)

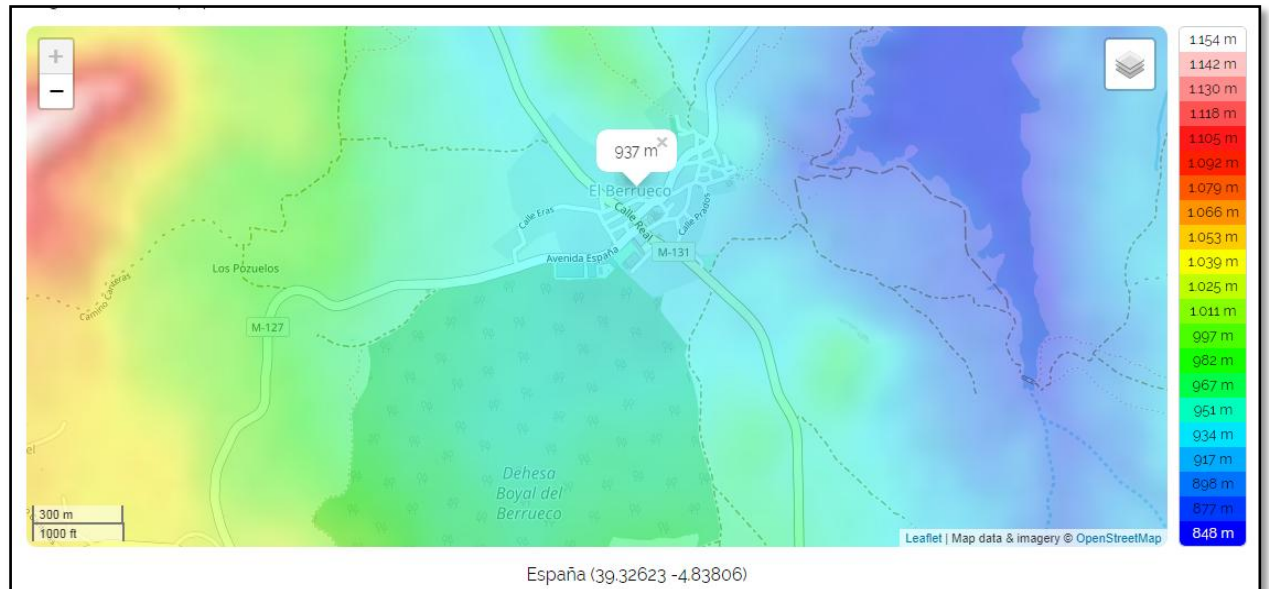


Figura 5: Mapa topográfico de El Berrueco

2.2.3 Litología

Como se observa en la siguiente figura, la zona del Berrueco se encuentra sobre un nivel paleozoico definida claramente por granitos, rocas ígneas de origen plutónica magmática con textura granular y cristalina, una densidad de 2.7 g/cm³, así como una dureza entre 6 y 7 en la escala de Mohs. Este tipo de material tiene una capacidad de filtración bastante alta por lo tanto se debe buscar una alternativa para no generar contaminación al terreno.

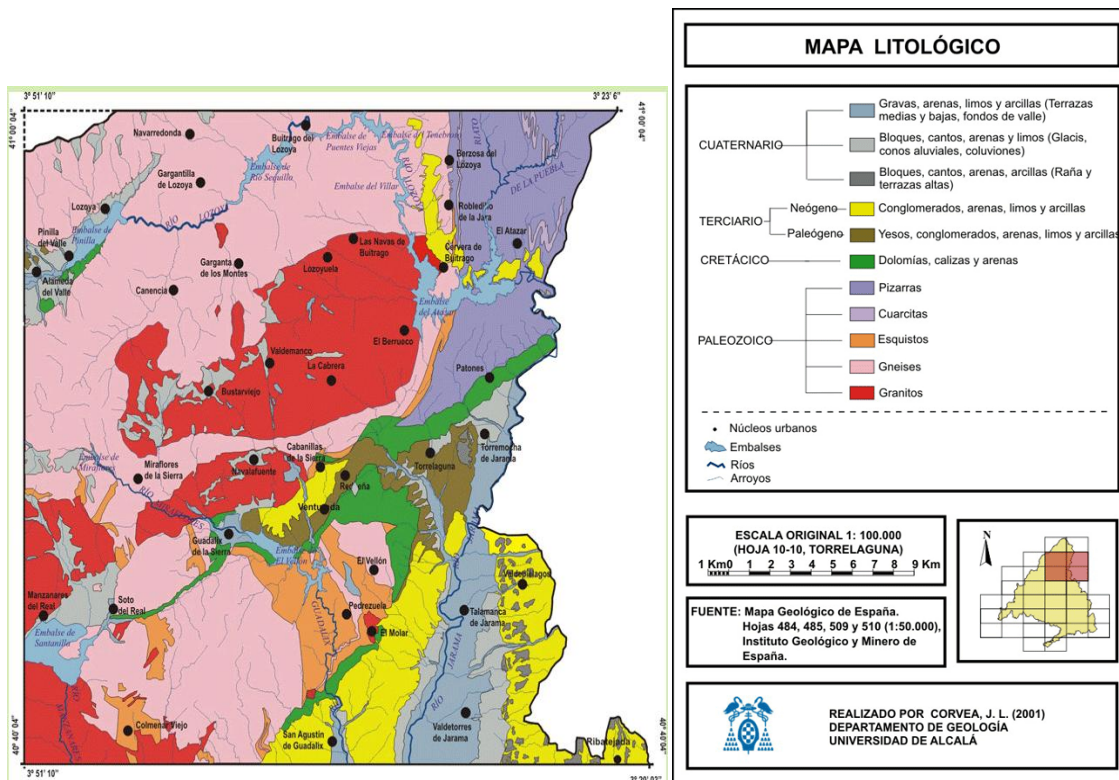


Figura 6: Mapa litológico de El Berrueco.

Fuente: http://www3.uah.es/jose_f_garcia_hidalgo/PIDs/litologia.html

2.2.4 Edafología

Puesto que El Berrueco se encuentra ubicado en la sierra Norte de Madrid donde este territorio presenta suelos ácidos y pobres en base, de origen plutónico (granitos), como de origen metamórfico (como gneis). Son suelos de poca profundidad debido a las fuertes pendientes y estructura carente de desarrollo.

La vegetación juega un papel fundamental dentro de los procesos edáficos para determinar si el terreno trata de roca o sedimentos.

Relación suelo-vegetación

La casi totalidad de la sierra de Madrid está constituida por materiales paleozoicos, como granitos y gneis de un marcado carácter ácido.



Figura 7: Paisaje El Berrueco.

Fuente: Ayuntamiento El Berrueco, 2019.

2.2.5 Hidrogeología

Las características hidrogeológicas del sector de El Berrueco se pueden analizar en las siguientes imágenes destacado con color rojo la presencia de materiales graníticos paleozoicos compuesto por cuarzo, feldespato y mica, que indican condiciones de permeabilidad baja-media por fracturación y alteración. Este material es desgastado y erosionado por las lluvias y los cambios de temperatura, dando lugar a una progresión de formas redondeadas y verticales por la erosión sobre sus líneas de debilidad estructural.

Los materiales paleozoicos son considerados hidrogeológicamente como acuífugos, es decir que el material no contiene ni trasmite agua.

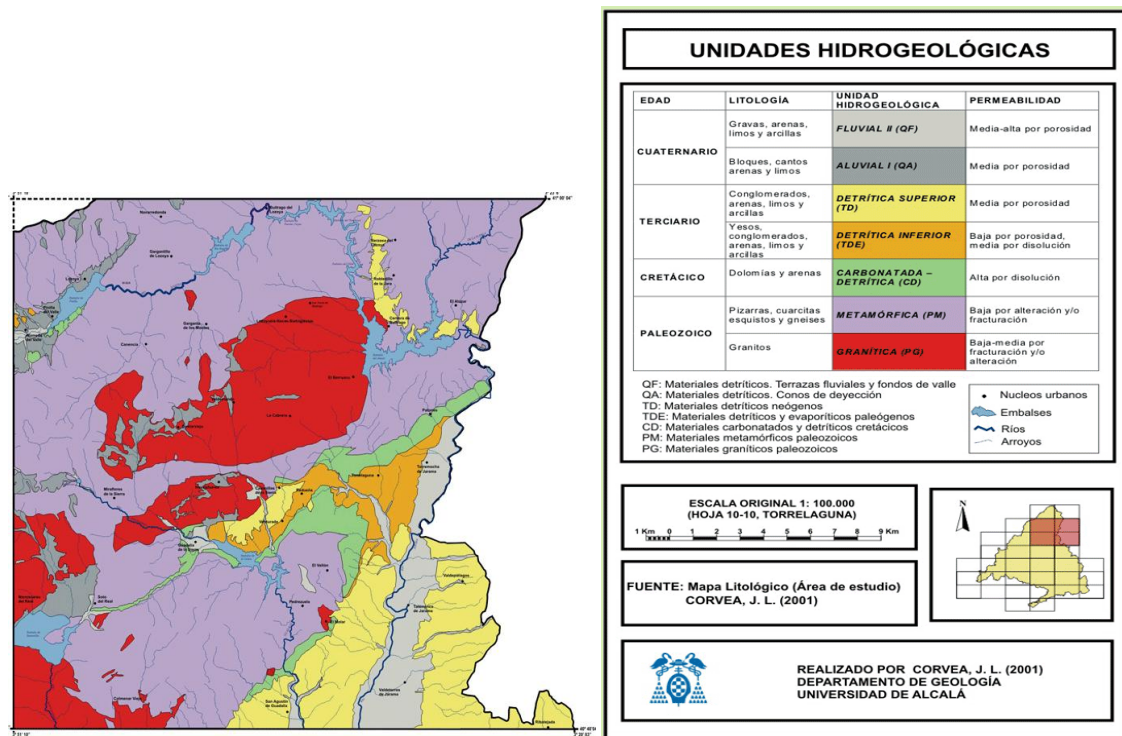


Figura 8: Mapa hidrogeológico de El Berrueco.

Fuente: http://www3.uah.es/jose_f_garcia_hidalgo/PIDs/hidrogeologia.html

2.3 Factores de calidad

2.3.1 Características de las aguas residuales

Para cumplir con las normas establecidas para mejorar la calidad de las aguas que son consumidas en usos domésticos, industriales se debe tener en cuenta la eliminación de los siguientes contaminantes que están presentes en el fluido y dispuestas a ser depuradas por los sistemas.



Figura 9: Contaminantes presentes en las Aguas Residuales Domésticas.

Para caracterizar las aguas residuales se maneja una serie de parámetros que se utilizan para cuantificar los contaminantes presentes en las aguas residuales como:

- **Aceites y grasas:** se establece mediante su extracción previa, con un disolvente apropiado y la posterior evaporación del disolvente.
- **Sólidos en suspensión:** se trata de los sólidos totales que quedan retenidos por una membrana filtrante de un tamaño determinado (0,45 μ m).
- **Sustancias con requerimiento de oxígeno:** para la cuantificación de estas sustancias los dos parámetros más utilizados son:
 - Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5):** es la cantidad correspondiente de oxígeno (mg/l) precisa para oxidar biológicamente los elementos de las aguas residuales. En el lapso de cinco días de duración del ensayo se consume aproximadamente el 70% de las sustancias biodegradables.
 - Demanda Química de Oxígeno (DQO):** es la cantidad correspondiente de oxígeno (mg/l) fundamental para oxidar los componentes orgánicos del agua utilizando agentes químicos oxidantes.
- **Nitrógeno:** se revela en las aguas residuales en forma de nitrógeno orgánico, amoniacal y, en menor cantidad, de nitratos y nitritos.
- **Fósforo:** Surge principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos..

- **Organismos patógenos:** están presentes en pequeñas cantidades siendo considerablemente difícil su aislamiento, por tal razón, se usan habitualmente los coliformes como organismo indicador.

La siguiente imagen expone los rangos medios orientativos de los principales parámetros que caracterizan las aguas residuales generadas en pequeñas poblaciones por aportaciones domésticas.

Parámetro	Rango habitual
Sólidos en Suspensión (mg/l)	300 – 500
DBO ₅ (mg/l)	400 – 600
DQO (mg/l)	800 – 1.200
Nitrógeno (mg N/l)	50 – 100
Fósforo (mg P/l)	10 – 20
Grasas (mg/l)	50 – 100
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	10 ⁷ -10 ⁸

Figura 10: Valores típicos de los principales contaminantes de las aguas residuales urbanas procedentes de pequeñas aglomeraciones urbanas.

Fuente: Alianza por el agua, 2008

2.3.2 Capacidad de depuración de las aguas residuales

Los vertidos de las aguas residuales deben ser depurados con el propósito de evitar los impactos negativos sobre los cauces receptores en los cuáles se debe tener en cuenta los próximos puntos:

- **Fangos y flotantes:** Los sedimentos se asientan en el fondo generando su acumulación en grandes cantidades como también la fracción no sedimentable forma la acumulación de grandes cantidades de sólidos en la superficie y/o en las orillas de los cauces receptores formando capas de flotantes. Esto origina la reducción de oxígeno disuelto presente en el agua propagando el desprendimiento de malos olores así como un desagradable impacto visual.
- **Agotamiento del contenido de oxígeno presente en las aguas:** El proceso aerobio de la flora bacteriana de las aguas presenta un consumo excesivo de oxígeno disuelto provocando la disminución de los valores mínimos necesarios interferirá en el desarrollo de la vida acuática. Consumido el oxígeno disponible, los procesos de degradación vía anaerobia generarán olores desagradables.
- **Exceso de nutrientes:** esta acción estimula el crecimiento descontrolado de

algas y otras plantas en los cauces receptores (eutrofización). Este crecimiento excesivo de biomasa termina impidiendo el uso de esas aguas para usos domésticos e industriales.

- **Daños a la salud humana:** los vertidos de aguas residuales deben ser tratados dado que pueden fomentar la propagación de organismos patógenos para el ser humano (virus, bacterias, protozoos y helmintos). Entre las enfermedades que pueden propagarse a través de las aguas contaminadas destacan: el cólera, el tifus, la disentería y la hepatitis A.

2.3.3 Legislación vigente

En la siguiente tabla se presentan las normas, decretos y leyes para el control y la gestión de las aguas en España que se deben conocer con el fin de desarrollar el proyecto:

Normatividad	Año	Entidad	Descripción
Directiva 91/271	1991	Comunidad Económica Europea	Tratamiento de las aguas residuales urbanas tiene por objeto la recogida, el tratamiento y el vertido de las aguas residuales urbanas y el tratamiento y vertido de las aguas residuales procedentes de determinados sectores industriales.
Ley 17/1984	1985	Asamblea de Madrid	Constituye el primer paso para dotar a todos los ciudadanos de la Comunidad de Madrid de un abastecimiento de agua eficaz, con garantía de cantidad y calidad, y de un saneamiento que minimice el impacto ambiental sobre los ríos.
Ley 11/95	2006	Jefatura del Estado	Se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas
Real decreto 606/2003	2003	Ministerio del medio ambiente	Vertidos a autorizar según el reglamento de dominio público hidráulico (RDPH)

2.4 Factores tecnológicos

2.4.1 Estación depuradora de aguas residuales El Berrueco

La EDAR se sitúa muy próxima al núcleo urbano El Berrueco. Saliendo de El Berrueco por la M-131 hacia Torrelaguna, a 500 metros se toma un desvío hacia la izquierda. Esta se encuentra a 1,5 km del desvío, en un área inclinada cuyo sustrato es de naturaleza granítica con una permeabilidad de baja a medio tapizado por bolos graníticos dando un paisaje berrocal.

En esta depuradora, se puede contemplar una depuración de las aguas residuales haciendo uso de lechos bacterianos, donde previamente se sometió a un tratamiento primario retirando los sólidos suspendidos y sedimentarios evitando la obstrucción del sistema. El fluido circula por medio de una masa de material de gran superficie específica que trabaja de soporte a los microorganismos encargados de oxidar la materia orgánica, creando sobre dicha superficie una lámina espesa.

Dicha lámina biológica en su interior contiene bacterias autótrofas nitrificantes y la superficie bacterias heterótrofas. Frecuentemente se observa en las capas superiores la presencia de hongos y en la superficie de algas verdes (Díaz, 1988).

Para garantizar el mantenimiento de los microorganismos anteriormente mencionados es imprescindible aportar el oxígeno necesario a través de la aireación de la masa del lecho. La contaminación orgánica presente en el agua residual y el oxígeno del aire, son aprovechados por dichos microorganismos, mientras que los productos secundario y el gas carbónico, son acumulados en las fosas clarificadoras dispuestas con posterioridad o bien se desprenden y son liberados a la atmósfera.

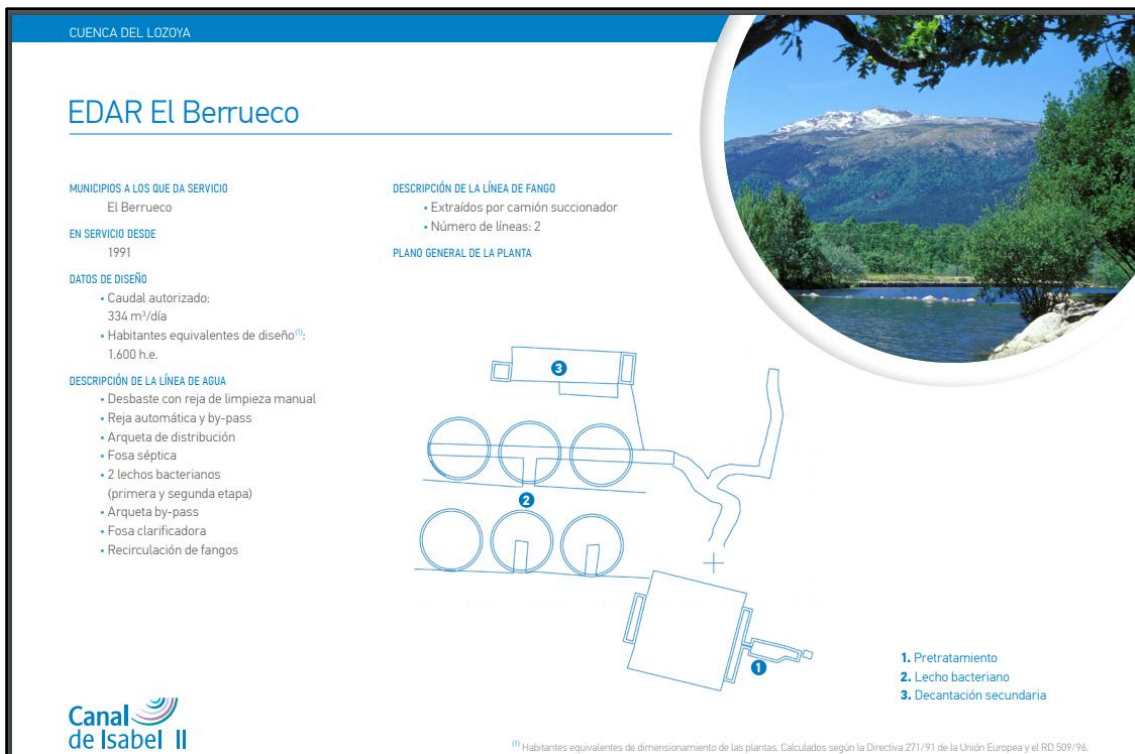


Figura 11: Ciclo integral del Agua en la cuenca de Lozoya EDAR El Berrueco

Fuente: Canal de Isabel segunda. Ciclo integral del agua. Cuenca de Lozoya 2019

Ha sido construida con una capacidad para 1600 habitantes llevando un proceso de lecho bacteriano para manejar un caudal autorizado de 334 m³/día.

A continuación se presentan imágenes recientes de la depuradora de aguas residuales cercada por la entidad reguladora, en este caso el canal de Isabel II.



Figura 12: Imágenes actuales de la EDAR

2.4.2 Seguimiento de la instalación de depuración

Para el cumplimiento de la Directiva 91/271 es necesario llevar un control rutinario dentro de las instalaciones así como también un control de los parámetros que permiten el análisis de su función en la depuración de las aguas. Siguiendo esta normativa que contiene los requisitos relativos al transporte, tratamiento y descarga de las aguas residuales en la Unión Europea, siendo su objetivo la protección del medio ambiente de los efectos adversos de estos vertidos.

La Directiva establece unos requisitos mínimos para el vertido de dichas aguas residuales:

Para poblaciones urbanas entre los 2.000 y 999 habitantes-equivalentes, establece que se ejecuten un mínimo de 12 muestreos a lo largo del primer año de seguimiento de la EDAR. Las muestras se tomarán durante períodos de 24 horas, en intervalos regulares y equitativos al caudal circulante. Del total de muestreos efectuados deberán cumplir los requisitos anteriores, en cuanto a concentración o porcentaje de reducción, un mínimo

de 10. Si esto se cumple en años próximos, este reducirá a 4 número de muestras..

La próxima figura muestra los parámetros establecidos, los requisitos de vertido (concentración/rendimiento) y los métodos analíticos a emplear.

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción ⁽¹⁾	Método de medida de referencia
DBO ₅ a 20°C sin nitrificación ⁽²⁾	25 mg/l O ₂	70-90 (40 a 1500 m por encima del nivel del mar)	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Determinación de oxígeno disuelto antes y después de 5 días de incubación a 20°C ± 1 °C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de nitrificación
DQO	125 mg/l O ₂	75	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Digestión ácida con dicromato potásico
Total de sólidos	35 mg/l ⁽³⁾ (más de 10000 hab.-eq.);	90 (más de 10000 hab.-eq.)	Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105°C y pesaje en suspensión
	60 mg/l (de 2000 a 10000 hab.-eq.);	70 (de 2000 a 10000 hab.-eq.)	Centrifugación de una muestra representativa (durante 5 minutos como mínimo, con una aceleración media de 2800 a 3200 g), secado a 105°C y pesaje

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada
(2) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre DBO₅ y el parámetro sustitutivo
(3) Este requisito es optativo

Figura 13: requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción. **Fuente:** Alianza por el agua, 2008

2.5 Factores socioeconómicos

Este lugar se caracteriza porque pertenece al grupo de municipios con un bajísimo nivel de actividad económica, ya que se trata de una zona rural cercana a la capital por lo tanto las personas jóvenes deciden desplazarse hasta Madrid.

La principal fuente de riqueza que se obtiene actualmente es el turismo rural ecológico

dado que brinda y respeta los valiosos espacios naturales existentes. Fomenta el comercio agroecológico y las actividades deportivas fortaleciendo el servicio de la hostelería y el comercio.

2.6 Descripción de Filtros Verdes

Los Filtros Verdes (FV) consisten en una o varias fracciones de terreno divididas en función de las necesidades para depurar según la ubicación de estos. Allí se puede plantear vegetación arbórea o cultivos agrícolas que serán regados con aguas residuales o depuradas. Una parte del agua aplicada se evapora, otra parte es captada por las raíces de la plantación y el resto se infiltra a través del suelo, recargando de esta manera los acuíferos.

Los filtros verdes utilizan la dinámica de los humedales para limpiar el agua de las plantas de tratamiento logrando que el sistema depure el 90% de la materia orgánica. Es una red de canales largos y poco profundos donde se siembra vegetación híbrida (dependiendo de la zona dado el tipo de suelo, clima, temperatura, etc.)

Las raíces trabajan de manera conjunta con el suelo, los microorganismos y las plantas degradando las cargas orgánicas, teniendo en cuenta que se pueden utilizar de abono cuando haya cumplido su ciclo de vida. Es un sistema flexible, eficaz y económico.

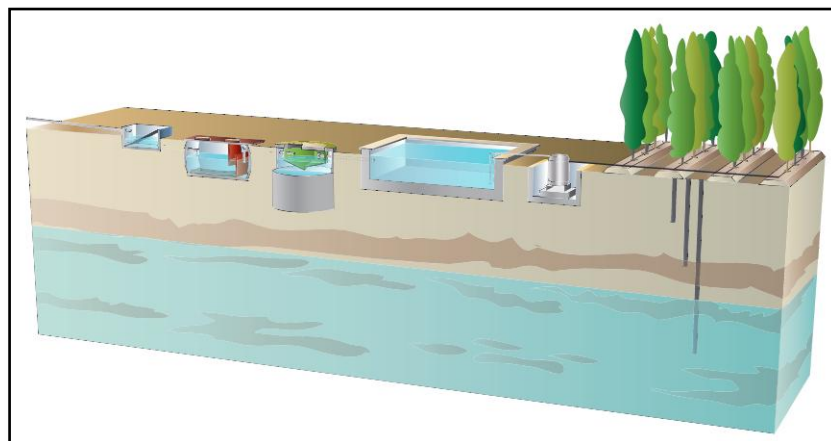


Figura 14: Esquema funcionamiento de filtro verde

Fuente: Imdea, 2018

Este tipo de sistema facilita la gestión de los lodos puesto que quedan retenidos en la superficie del terreno, así como en las proximidades de los puntos de alimentación, mineralización y reciclándose de manera natural.

A continuación se muestra un cuadro comparativo entre las ventajas y desventajas de la aplicación de FV teniendo en cuenta que son soluciones naturales, efectivas y expansivas de gran competitividad para el tratamiento de las aguas residuales de pequeños municipios:

<u>VENTAJAS</u>	<u>DESVENTAJAS</u>
Reduce hasta un 98% en la reducción de la carga contaminante	Es muy importante las temperaturas no pueden ser excesivamente frías ni excesivamente húmedas
Requiere un consumo mínimo de energía (Ahorro)	Se genera un menor rendimiento que en los sistemas convencionales puesto que requiere más tiempo
Se integra completamente en el entorno	Requiere una mayor superficie que en los sistemas convencionales
No necesariamente se requiere personal cualificado para la explotación y mantenimiento del sistema	El mantenimiento es más elevado por el número de horas que se emplean en el riego y en la recolección si se trata de un cultivo
Ausencia de olores	Las condicionantes litológicas e hidrogeológicas deben ser adecuadas para la implementación
Ausencia de elementos electromecánicos	
Se le puede sacar provecho económico con la venta de los cultivos	

Figura 15: Cuadro comparativo ventajas vs desventajas sobre filtros verdes

3. RESULTADOS

DISEÑO DEL FILTRO VERDE PARA LA EDAR DEL BERRUECO

Como resultado de la información obtenida y presentada anteriormente se indica su planteamiento y se plantean los cálculos necesarios para su diseño. Se muestra un estudio técnico sobre el diseño de un sistema superficial para su implementación, teniendo en cuenta factores climatológicos y edáficos, así como las características y peculiaridades del agua residual a tratar.

3.1 Ficha técnica del filtro verde



Figura 14: Ficha técnica de los filtros verdes

3.2 Descripción del proceso de implementación de un filtro verde en El Berrueco

Cuando se diseña un sistema de filtros verdes lo primero que hay que tener en cuenta, es

que se va a añadir una cierta cantidad de agua, con una cierta cantidad, con una carga contaminante muy variable, que va a modificar el balance hídrico natural (Mateos, et al., 2000)

Este diagrama es una representación gráfica de la combinación de operaciones y procesos propuestos para el cumplimiento de los objetivos de la depuración de las aguas residuales. Para su elección y posterior análisis son importantes tanto el conocimiento teórico, como la experiencia práctica.

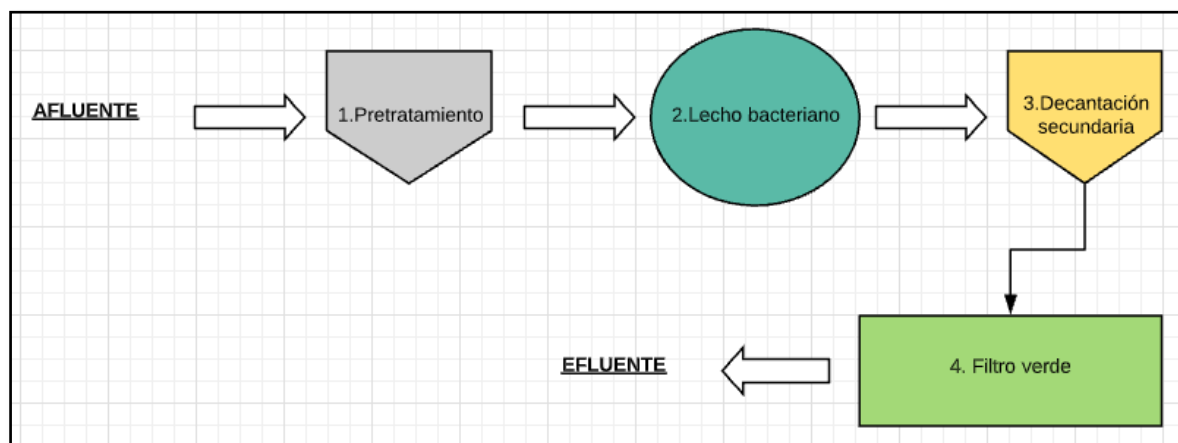


Figura 15: Diagrama de flujo del sistema

El efluente que se aplicara sobre el filtro verde fue sometido previamente a un proceso de desbaste mediante rejillas, evitando obstrucciones en las tuberías de distribución. A continuación circula hacia el tratamiento secundario el cual está constituido por el por un proceso de lecho bacteriano y decantación secundaria donde se eliminan sólidos en suspensión y materia orgánica, así como también se obtienen importantes reducciones de nitrógeno, fósforo y de organismos patógenos. Para finalizar los vertidos y los subproductos que quedan presentan continúan el ciclo hasta llevar al sistema de filtros verdes donde esas aguas serán aprovechadas por el cultivo de Populus Euroamericano (Chopera) eliminando sobrantes y cargas contaminantes.

3.2 Cálculo de la carga hidráulica y la superficie necesaria

- **Sistema de baja carga**

Para obtener el valor de la superficie que se necesita para la implantación de el sistema de FV es necesario determinar la carga hidráulica (Ch) aplicable. Esta consta del volumen de agua que se aplica sobre el terreno durante un periodo de tiempo determinado, expresado en mm/semana ó mm/año.

En los FV la carga hidráulica se determina a partir de la permeabilidad del suelo o la concentración de nitrógeno en el agua percolada. En este caso se calcula mediante la ecuación de equilibrio hídrico del tramo, que para un período mensual viene dado por la expresión:

$$\text{Chpm} = \text{ETPm} - \text{Prm} + \text{Tim}$$

Chpm Carga hidráulica mensual basada en la permeabilidad del suelo (mm/mes)

ETPm Evapotranspiración potencial mensual (mm/mes)

Prm Precipitación mensual. Valores medios durante un período de retorno de 10 años (mm/mes)

El valor de Tim se determina in situ a la permeabilidad más baja del terreno sobre el que se va a asentar el filtro verde. A partir de este dato se establece la tasa de infiltración de diseño, que no deberá exceder del 4-10 % de la permeabilidad mínima.

Tim Tasa de infiltración mensual (mm/mes).

$$\text{Tidiaria} = \text{Permeabilidad (mm/h)} \times 24 \text{ h/d} \times (0,04 \text{ a } 0,1)$$

El valor de la tasa de infiltración mensual se obtiene mediante la expresión:

$$\text{Timensual} = \text{Ti diaria} \times \text{número de días de riego al mes}$$

La frecuencia de los riegos oscila entre una vez cada 4 días para suelos arenosos y una vez cada 14 días para suelos arcillosos, siendo un valor bastante común un riego cada semana. La carga hidráulica anual basada en la permeabilidad del terreno (Chpa, mm/año), se obtiene como suma de las cargas hidráulicas obtenidas para cada mes.

En este caso se utilizara el populus x euroamericano con una Evapotranspiración (ETPa) que cuenta con necesidad de agua de unos 2500 mm de pluviometría anual.

- $ETPa = 2500 \text{ mm/años} \rightarrow ETPm = 208 \text{ mm/mes}$

La precipitación media anual como se dijo anteriormente en la zona es de 475 mm/anual.

- $Pra = 475 \text{ mm/año} \rightarrow Prm = 40 \text{ mm/mes}$

Para el cálculo de las tasas de infiltración se emplea el valor de una permeabilidad baja que está entre el rango entre 0,13-0,3 cm/h utilizando la media que es 0.02 cm/año que al convertirlo en las unidades de la fórmula resulta un valor de 20 mm/mes. Al tener esas características se estima el 4% de permeabilidad.

- $Tid = 20 \text{ mm/h} \times 24 \text{ h/d} \times (0.04) \rightarrow Tid = 19.2 \text{ mm/d}$
- $Tim = 19.2 \text{ mm/d} \times 12 \text{ d} = 230.4 \text{ mm} \rightarrow Tim = 230.4 \text{ mm/mes}$

$$Chpm = 208 \text{ mm/mes} - 40 \text{ mm/mes} + 230.4 \text{ mm/mes}$$

$$Chpm = 398.4 \text{ mm/mes} \rightarrow \boxed{Chpm = 4.78 \text{ m/año}}$$

Como se puede observar en el resultado de la carga hidráulica anual encaja entre el rango establecido para calcular el filtro verde según la siguiente tabla.

Características	Filtro Verde	Infiltración Rápida	Escorrentía Superficial	Lechos de Turba	Lagunajes	Humedales	Cultivos Acuáticos
Técnicas de aplicación	Aspersión o superficial ^a	Generalmente superficial	Aspersión o superficial	Superficial	Superficial	Aspersión o superficial	Superficial
Carga hidráulica anual (m/año)	1,70-6,0	6,0-100	7,3-56,7			5,5-18	5,5-18
Superficie necesaria ^b (m ² /hab)	10-90	1-22	10-44	0,6-1	6,5		
Pretratamiento o mínimo necesario	Sedimentación primaria ^c . Desbaste	Sedimentación primaria. Desbaste	Desbaste	Desbaste a través de filtros autolimpiables	Desbaste.	Sedimentación primaria. Desbaste	Sedimentación primaria. Desbaste
Evacuación del agua residual aplicada	Evapo-Transpiración y percolación	Principalmente percolación	Escorrentía superficial y evaporación con algo de percolación	Drenaje en la base del sistema		Evapo-transpiración, percolación y escorrentía superficial	Algo de evapo-transpiración
Vegetación	Necesaria	Opcional	Necesaria	No necesaria	No necesaria	Necesaria	Necesaria

^a Incluye riego por surcos y arriegas.
^b La superficie necesaria no incluye la zona de amortiguación, ni los accesorios y zanjas.
^c Depende del uso del efluente y del tipo de cultivo.

Figura 18: Características de diseño de los diferentes sistemas de tratamientos naturales. **Fuente:** La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa del terreno.2003

Determinado el valor de la carga hidráulica de diseño (Ch), se procede a calcular la superficie necesaria de filtro verde mediante la expresión:

$$S = \frac{365 * Q}{10 * Ch}$$

$$S = \frac{365 (356.270 \text{ m}^3/\text{año})}{10 * (4.87 \frac{\text{m}}{\text{año}})} \quad S = 2670 \text{ m}^2$$

Donde Q es el Caudal de vertido de la EDAR y Ch es el valor anterior obtenido.

3.3 Marco de plantación

El marco de plantación viene definido por los objetivos que se persigan con los árboles que se establezcan en el filtro verde, tanto económicos como tecnológicos. Si se procura conseguir elevadas producciones de madera destinadas a la industria (obtención de celulosa, combustible, etc.), los marcos de plantación que se emplean suponen menos de 16 m² por árbol (entre 2.500 y 625 plantas/ha). Por el contrario, si se desean obtener maderas de escuadría (sierra y desenrollo), los marcos de plantación son medios y amplios, tanto más cuanto mayor sea el turno de corta. Esto supone superficies de más de 20 m² por árbol (menos de 500 plantas/ha).

La aplicación en surcos en lugar de a manta disminuye el riesgo de encharcamiento en la base de los troncos, reduciendo también el peligro de infecciones fúngicas. Se promueve, además, un mayor desarrollo del sistema radicular, delimitando la zona de formación sobre la superficie del surco, de donde es más fácil de extraer.

3.4 Sistemas de aplicación superficial al terreno

En este caso se llevara a cabo el riego superficial, por lo que la carga hidráulica no está controlada por la demanda de agua del chopo, sino por la permeabilidad del terreno. Esta parcela tiene una pequeña pendiente lateral así que se usaría como beneficio para evitar el estancamiento. En el caso de riego mediante surcos debe garantizarse la absorción total de toda la parcela a regar, lo que es función de la permeabilidad del terreno. Para esto el sistema se distribuye en la parte superior de terrenos con vegetación y con pendientes apropiadas que puede ser entre 1 - 8%, para que las aguas logren fluir superficialmente hasta unas zanjás de recogida, que se encuentran al final de las pendientes.

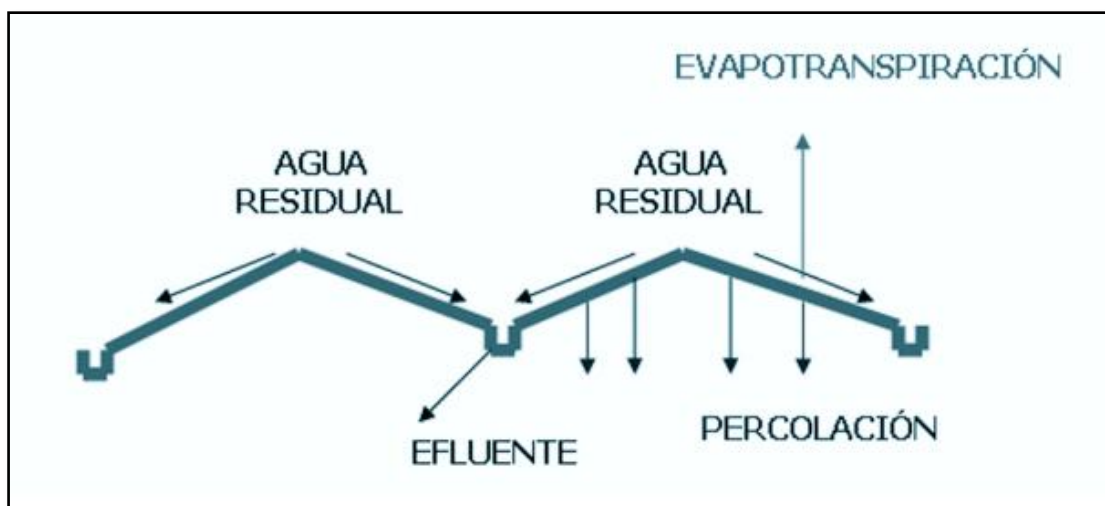


Figura 19: Riego superficial en FV. **Fuente:** Alianza por el agua, 2008

Se emplea suelos o estratos subsuperficiales relativamente impermeables, la mayor parte del agua aplicada por escorrentía superficial termina finalmente evaporotranspirándose de forma variable según el clima de la región y la estación del año. Este método ayuda a estabilizar la tasa de infiltración, siempre y cuando se mantengan limpios. El agua se aplica de manera individual por cada surco que está formado por pequeños canales por el cual circula el agua mediante tuberías con compuertas para no colapsar el sistema y distribuirlo de forma uniforme.



Figura 20: Ejemplo sistema de aplicación superficial al terreno: filtro verde

Fuente: Alianza por el agua, 2008

Para mantener el terreno al cuál se le aplican las aguas en condiciones aerobias se maneja la aplicación discontinua en los ciclos que oscilan entre 4 y 10 días mediante dichos surcos.

Este sistema una extensión de terreno superficial, sobre la que se asienta una especie forestal la cuál va a ser regada con las aguas residuales que vierte la EDAR actual en El Berrueco. En este caso se selecciono el Populus Euroamericano (chopo), a continuación se realizan los cálculos que pertenecen a la capacidad de absorción de nutrientes que proporcionan para el FV.

Populus (Chopo):

- Productividad

$$1,33 \text{ kg m}^2/\text{año} = 13300 \text{ kg ha/año}$$

- Capacidad de asimilación de nutrientes

$$150 \text{ kg N ha/año} ; 15 \text{ kg P ha/año}$$

Para estos cálculos se utilizan datos basados en estudios realizados anteriormente, en condiciones climáticas variables, con propiedades edáficas y características diferentes.

El espacio de tierra donde se implanta el sistema se subdivide en un conjunto de parcelas, que serán regadas por medio de surco en forma rotativa permitiendo la re oxigenación natural tras los periodos de encharcamiento. En este caso las aguas depuradas no serán reutilizadas puesto que se infiltra en el terreno donde termina finalmente bajo las capas de suelo. Para vigilar la calidad de las aguas que se infiltran es necesario instalar una red de lisímetros en la extensión, esto permitirá el registro de la muestras a diferentes profundidades.

3.5 Mantenimiento del sistema

Su objetivo consiste en asegurar y garantizar el normal funcionamiento de todos los equipos e instalaciones de la estación de tratamiento, la explotación persigue armonizar los medios humanos y materiales para depurar el efluente, aplicando un mínimo coste económico y ambiental. El mantenimiento del FV consistirá en actividades similares a las labores agrícolas clásicas (rastrillado, cavado, siega, poda, eliminación de malas hierbas, etc.), por lo que no se requiere contratar personal cualificado y los costos son menores.

Por otro lado, la mínima presencia de equipos electromecánicos requiere eliminar las incidencias por averías, que normalmente dejan fuera de servicio las estaciones de tratamiento durante largos periodos de tiempo.

3.6 Garantía de funcionamiento eficaz

En este proyecto se garantiza el funcionamiento eficaz frente a grandes oscilaciones de caudal y carga en el influente a tratar. Se tiene en cuenta que a lo largo del día se generan fuertes oscilaciones, su caudal como su carga contaminante.

A pesar de los cambios bruscos al ser de gran extensión proporciona una especie de «colchón» amortiguador de las oscilaciones diarias de caudal y carga. Este tipo de sistemas están adaptadas para soportar incidencias puntuales de vertidos anómalos a la red de saneamiento. Es importante llevar una gestión para resistir a los cambios.

3.7 Manejo de lodos

Los tratamientos convencionales lograr depurar las aguas pero siempre queda existiendo un subproducto y en este caso son los lodos. Estos necesitan ser estabilizados, concentrados y deshidratados, antes de su deposición. Se tiene en cuenta que por cada habitante, este genera 80 g de lodos (materia seca) al día del orden de 0.3 l de lodos.

Pero en el sistema de los filtros verdes los sólidos en suspensión, presentes en las aguas a tratar, quedan retenidos en la superficie del terreno y en las fronteras de los puntos de alimentación, mineralizándose y reciclándose de manera natural.

DISCUSIONES

Este proyecto se plantea en una zona de gran interés ambiental, pero a su vez pertenece a una población alejada de la capital donde no hay una fuerte demanda de empleo, por tal razón la mayor parte de la población que habita en el territorio son de edad adulta indicando un alto índice de mortalidad, esto indica que al realizar una propuesta para la mejora de la depuración de las aguas residuales no sea un tema de gran importancia puesto que ya tienen un sistema convencional con el cual llevan trabajando años atrás. Sin embargo la expansión del territorio, la mejora en las carreteras y el fomento por parte de los ayuntamientos para incentivar las actividades sociales, deportivas y económicas indican que a largo plazo este lugar tendrá un mayor desarrollo. Por lo tanto desde mi punto de vista es un proyecto viable para implementarlo con el transcurso del tiempo y así poder garantizar el cumplimiento de las nuevas normativas que buscan minimizar los impactos negativos sobre los vertidos de las aguas en la Comunidad de Madrid.

Actualmente dada las situaciones de escasez de agua y el aumento de la población que provocan que los sistemas de tratamiento sean más exigentes y entre las alternativas de las directivas se plantea la reutilización de las aguas, si se aplica este sistema se evita el vertido de aguas con altas concentraciones de cargas contaminantes a las fuentes de agua del territorio.

Existen opiniones acerca de los Filtros verdes sobre la simplicidad del mantenimiento y la explotación del diseño y construcción puesto que anteriormente estos sistemas han fracasado por el mal funcionamiento pero esto es debido a un análisis erróneo sobre el dimensionamiento de este provocando que no se den los resultados esperados. Es importante aclarar que la culpa no es de la tecnología no convencional sino de la mala gestión y mantenimiento del sistema.

CONCLUSIONES

- El diseño del sistema es compatible con el procedimiento que ya se efectúa en la zona, tiene la capacidad para tratar las cargas hidráulicas disponibles así como de reducir las cargas contaminantes entre un 80 y 90% teniendo en cuenta la permeabilidad de los suelos, las precipitaciones y la evapotranspiración de la vegetación a plantar, en este caso el chopo.
- Este proyecto es eficiente, económico y sostenible en el medio rural puesto que no requiere un control y seguimiento diario realizado por expertos. El medio natural se encargará de depurar y aprovechar esas aguas para el crecimiento de la población vegetativa.
- El uso del cultivo de Populus Euroamericano garantiza la eliminación de patógenos, metales tóxicos y otros contaminantes siendo también una herramienta eficaz para disminuir el contenido en nitratos del agua hasta en un 70%.
- Para superar los errores que limitan el sistema, la opción más viable es llevar un control y seguimiento de la expansión del territorio utilizado para implementar el filtro verde, siempre y cuando no se descuide su funcionamiento, este será de bajo coste y con impactos positivos sobre el medio, así como una oportunidad para aplicarlo en las zonas aledañas.

BIBLIOGRAFIA

-Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L.F., Andrade, M., (2010) Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba. Bolivia.

-Comunidad de Madrid (2005). Ayuntamiento del Berrueco [Online] Disponible en <http://www.madrid.org/cs/BlobServer?blobkey=id&blobwhere=1220501729645&blobheader=application%2Fpdf&blobheadervalue1=filename%3DGu%C3%ADa+de+Turismo+Rural.+El+Berrueco.pdf&blobcol=urldata&blobtable=MungoBlobs>

-Comunidad de Madrid (2018). Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid [Online] Disponible en <http://www.madrid.org/desvan/desvan/AccionDatosUnaSerie.icm?codTema=201007&codMun=0210>

-Climate-Data (2018). Clima anual El Berrueco [Online] Disponible en <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-de-madrid/el-berrueco-150410/>.

-Topographic-map.com (2019) Mapa topográfico de El Berrueco. [Online] Disponible en <https://es-es.topographic-map.com/maps/dfg8/Berrueco/>.

-Página web de José F. García-Hidalgo (2012). [Online] Disponible en http://www3.uah.es/jose_f_garcia_hidalgo/PIDs/litologia.html

-BOE (1985). Ley 17/1984, de 20 de diciembre, reguladora del abastecimiento y saneamiento de agua en la Comunidad de Madrid. Boletín Oficial del Estado núm. 33 de 7 de febrero de 1985.

-BOE (2003). Real decreto 606/2003, de 23 de mayo, modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico. Boletín Oficial del Estado núm.135 de 6 de junio de 2003.

- BOE (1995). Real decreto 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Boletín Oficial del Estado núm. 312, de 30 de diciembre de 1995.

-BOE (1985). Ley 7/1985 de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local. Boletín Oficial del Estado núm. 80 de 3 de abril de 1985.

-DOCE (1991). Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

-www.iagua.es. Las plantaciones forestales sirven como filtros verdes para depurar aguas residuales. [Online] Disponible en <https://www.iagua.es/noticias/dicyt/plantaciones->

forestales-sirven-como filtros-verdes-depurar-aguas-residuales. Accedido en 4 de agosto de 2019.

- **Instituto Geológico y minero de España (2018)**. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas [Online] Disponible en http://info.igme.es/SidPDF/146000/858/146858_0000004.pdf

-**Alianza del agua (2008)**. **Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas** [Online] Disponible en <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

-**Moreno E. (2017)** Eliminación de nutrientes mediante el uso de filtros verdes en el río Choluteca (Tegucigalpa)

-**The Nature Conservancy. (2019)**. Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión del Agua en España [Online] Disponible en https://www.miteco.gob.es/es/agua/formacion/soluciones-basadas-en-la-naturaleza_tcm30-496389.pdf

-**www.agua.imdea.org**. Filtros Verdes para el tratamiento de aguas residuales urbanas de pequeños municipios [Online] Disponible en https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/publicity/fichas/ESP/oferta_tecnologica_filtros_verdes.pdf Accedido en 10 de agosto de 2019.

ANEXO I. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Populus (Chopo)

El género *Populus* está compuesto por cerca de 40 especies diferentes. Esta especie pertenece a la familia *Salicaceae*, se mantienen en hábitats húmedos, llanuras inundables y riberas fluviales. Alcanza hasta los 30 mts de altura. Presentan unas características que permiten un crecimiento rápido, óptimos para reproducción vegetativa, así como para usos como hibridación interespecífica.

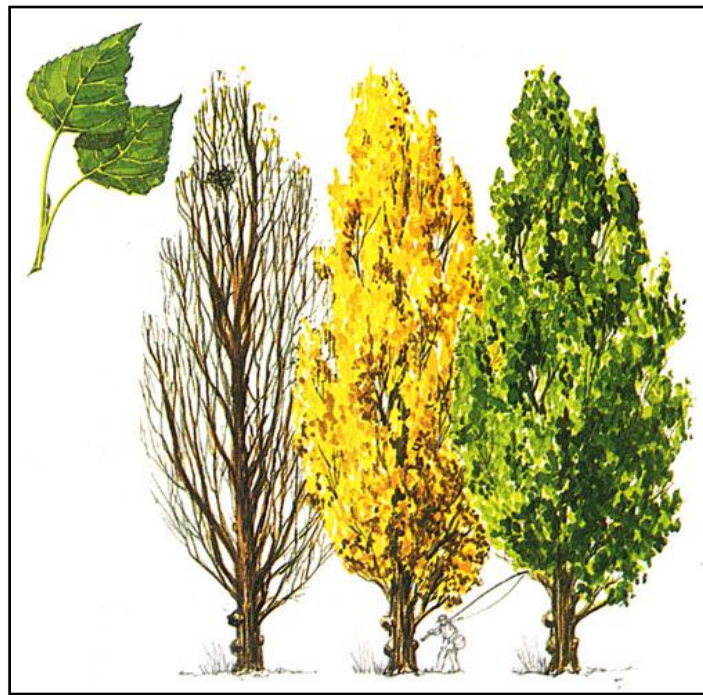


Figura 21: Imagen de la especie (Chopo)

Fuente: Enciclopedia de Navarra

Es hidrófila y heliófila característica de zonas de ribera que representa una herramienta inigualable para renaturalizar el paisaje. Está adaptado al dinamismo de las formaciones riparias, que es mucho mayor que el de los ecosistemas terrestres por la intensidad y frecuencia con la que se producen situaciones cambiantes y por las elevadas tasas de crecimiento de este tipo de vegetación y su naturaleza colonizadora. (FAO, 2005)

Chopos	
Higrofilia	😊
Resistencia a inundación	😊
Resistencia a la sequía	😞
Estacionalidad	😞
Producción de biomasa	😊
Formación de sotobosque	😊
Acción sobre el suelo	😊
Aprovechamiento de la madera	😊
Resistencia a parásitos	😞
Impacto visual	😊
Aceptación popular	😊

Figura 22: Características de los chopos.

Fuente: Alianza por el agua, 2008

Teniendo en cuenta la familia de los chopos, se sugiere la elección de *Populus x* Euroamericano conocido como clon Campeador, corresponde al clon de sexo femenino, con la copa bastante amplia, y su asta ligeramente blanda. Su capacidad de enraizamiento es superior, lo que le permite su desarrollo en condiciones de sequía en plantaciones de raíz profunda. No luce problemas para que bajo su sombra se genere la aparición de un sotobosque.

Por último, según distintos estudios, las plantaciones de choperas realizadas en las riberas pueden disminuir el contenido en nitratos del agua hasta en un 70%. Por ello, el importante papel del chopo en cuanto a la fitorremediación de aguas residuales de pequeños núcleos urbanos es la característica principal que hace de esta especie una alternativa idónea para su uso en un sistema de filtros verdes. (Dimitriou&Aronsson , 2005)

ANEXO II

Actualizado a fecha 30 / junio / 2019

NOMBRE DEL VERTIDO	TITULAR	MUNICIPIO DEL VERTIDO	PROVINCIA	UTM X Huso 30	UTM Y Huso 30	MEDIO	RECEPTOR	NATURALEZA DEL VERTIDO	CARACT. DEL VERTIDO	VOLUMEN (m3/año)	NATURALEZA M.RECEPTOR
PARQUE CENTRAL DE MAQUINARIA FCC CONSTRUCCIÓN (ASEOS)	FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.	ARGANDA DEL REY	MADRID	465.428	4.458.757	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	820	CATEGORÍA I
ALMACEN DE MEDIOS AUXILIARES FCC CONSTRUCCIÓN (ASEOS)	FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.	ARGANDA DEL REY	MADRID	455.706	4.461.550	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	2.800	CATEGORÍA I
CAMPING LAGOS COTO CISNEROS	CAMPING LAGOS COTO CISNEROS, S.A.	ARGANDA DEL REY	MADRID	455.085	4.460.231	LAGUNA COTO CISNEROS		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	43.800	CATEGORÍA I
ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN (ASEOS)	ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.	ARGANDA DEL REY	MADRID	460.490	4.464.737	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	350	CATEGORÍA I
AREA DE SERVICIO CTRA. R-3, PK 19.500 (M.D.)	ACCESOS DE MADRID, CONCESIONARIA ESPAÑOLA, S.A.	ARGANDA DEL REY	MADRID	461.720	4.465.912	ARROYO TAMABORA		INDUSTRIAL	CLASE 1 Resido	5.234	CATEGORÍA III
AREA DE SERVICIO CTRA. R-3, PK 19.500 (M.I.)	ACCESOS DE MADRID, CONCESIONARIA ESPAÑOLA, S.A.	ARGANDA DEL REY	MADRID	461.809	4.465.920	ARROYO TAMABORA		INDUSTRIAL	CLASE 1 Resido	1.645	CATEGORÍA III
FABRICA ACEITES Y GRASAS LUBRICANTES ELECTROFILM (ASEOS)	ELECTROFILM ESPAÑOLA, S.A.	ARGANDA DEL REY	MADRID	455.945	4.460.510	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	690	CATEGORÍA I
CENTRO CANINO BY-SECURICAN	BY-SECURICAN, S.L.	ARGANDA DEL REY	MADRID	465.803	4.459.540	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	511	CATEGORÍA I
CENTRO TRATAMIENTO RCDS ARGANDA DEL REY (ASEOS)	GESTIÓN Y DESARROLLO DEL MEDIO AMBIENTE DE MADRID, S.A.	ARGANDA DEL REY	MADRID	467.231	4.459.267	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	1.325	CATEGORÍA I
OFICINAS PRESA "EL ATAZAR"	CANAL DE ISABEL II	ATAZAR (EL)	MADRID	460.204	4.529.325	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	410	CATEGORÍA I
EDAR EL ATAZAR	CANAL DE ISABEL II	ATAZAR (EL)	MADRID	460.510	4.531.217	ARROYO DE LOS MOROS		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	5.855	CATEGORÍA I
EDAR NAVALCARNERO	CANAL DE ISABEL II	BATRES	MADRID	419.474	4.453.692	RIO GUADARRAMA		URBANO O ASIMILABLE	>10.000 h.e	4.999.605	CATEGORÍA I
EDAR BATRES	CANAL DE ISABEL II	BATRES	MADRID	421.075	4.451.070	ARROYO MORAL		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	60.873	CATEGORÍA I
E.S. CTRA. M-404, KM 11 (ASEOS)	ESTACION DE SERVICIO EL CONDADO, S.L.	BATRES	MADRID	419.691	4.452.557	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	1.168	CATEGORÍA I
EDAR BELMONTE DE TAJO	CANAL DE ISABEL II	BELMONTE DE TAJO	MADRID	470.459	4.443.805	ARROYO VALDERROBLEDO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	85.266	CATEGORÍA I
EDAR EL BERRUECO	CANAL DE ISABEL II	BERRUECO (EL)	MADRID	453.280	4.526.675	ARROYO DEL EJIDO		URBANO O ASIMILABLE	2.000-10.000 h.e	556.270	CATEGORÍA I
EDAR BERZOSA DEL LOZOYA	CANAL DE ISABEL II	BERZOSA DEL LOZOYA	MADRID	455.115	4.535.705	ARROYO DE LA FUENTE		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	35.726	CATEGORÍA I
EDAR ARROYO VALENOSO	CANAL DE ISABEL II	BOADILLA DEL MONTE	MADRID	422.270	4.473.763	ARROYO VALENOSO		URBANO O ASIMILABLE	>10.000 h.e	1.196.653	CATEGORÍA I
EDAR BOADILLA DEL MONTE	CANAL DE ISABEL II	BOADILLA DEL MONTE	MADRID	426.035	4.471.305	ARROYO MAJUELOS		URBANO O ASIMILABLE	>10.000 h.e	3.858.399	CATEGORÍA I
PERSONA FISICA (VIV. UNIFAMILIAR)	PERSONA FISICA	BREA DE TAJO	MADRID	488.165	4.455.200	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	3.000	CATEGORÍA I
EDAR BREA DE TAJO	CANAL DE ISABEL II	BREA DE TAJO	MADRID	482.429	4.452.150	ARROYO DE BREA		URBANO O ASIMILABLE	2.000-10.000 h.e	86.757	CATEGORÍA I
VIVERO AFLORA CULTIVOS (ASEOS)	AFLORA CULTIVOS, S.L.	BRUNETE	MADRID	416.091	4.470.295	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	200	CATEGORÍA I
PERSONA FISICA (VIV. UNIFAMILIAR)	PERSONA FISICA	BRUNETE	MADRID	416.725	4.469.774	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	292	CATEGORÍA I
FINCA LA PELLEJERA	AÑÓN TEAM HORSES, S.L.	BRUNETE	MADRID	419.517	4.472.374	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	3.650	CATEGORÍA I
CENTRO DE CRÍA CANINO Y VIVIENDA (ASEOS)	CENTRO CANINO BRUNETE, S.L.	BRUNETE	MADRID	413.442	4.475.164	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	219	CATEGORÍA I
CENTRO HÍPICO LOS LLANOS (ASEOS)	CENTRO HÍPICO LOS LLANOS, S.L.	BRUNETE	MADRID	414.035	4.476.340	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	605	CATEGORÍA I
RESTAURANTE EL VIVERO	DASANDOS, S.L.	BRUNETE	MADRID	419.965	4.471.107	ARROYO DEL VALLE		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	572	CATEGORÍA I
HÍPICA EL VALLE	PERSONA FISICA	BRUNETE	MADRID	416.651	4.470.738	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	584	CATEGORÍA I
GRANJA ESCUELAS EL ALAMO Y GIRALUNA	GRANJA ESCUELA EL ALAMO, S.L.	BRUNETE	MADRID	416.193	4.473.734	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	10.950	CATEGORÍA I
CENTRO TRATAMIENTO RCDS BUTRAGO DE LOZOYA (ASEOS)	GESTIÓN Y DESARROLLO DEL MEDIO AMBIENTE DE MADRID, S.A.	BUTRAGO DEL LOZOYA	MADRID	447.054	4.539.574	TERRENO		URBANO O ASIMILABLE	<2.000 h.e	43	CATEGORÍA I

Figura 23: Censo de vertidos autorizados.

Fuente: Confederación hidrográfica del Tajo (2019)